مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۳، شماره ۳، سال ۱۳۹۶

ترکیب‌پذیری لاین‌های ذرت از ژرم پلاسم حاره‌ای و نیمه حاره‌ای با استفاده از تسترهای مناطق معتدل

Combining Ability of Maize Lines from Tropical and Subtropical Germplasm using Temperate Testers

صادق طاهری‌طریق[۱]، سیده ساناز رمضانپور[۲]، رجب چوکان[۳]، حسن سلطانلو[۲]، سعید نواب‌پور[۲] و کامبیز گیلانی[۴]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- دانشیار، مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی تولید مثل، پژوهشکده فناوری‌های نوین علوم پزشکی، جهاد دانشگاهی ابن سینا، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۹

چکیده

طاهری طریق ، ص.، رمضانپور ، س. س.، چوکان ، ر.، سلطانلو، ح.، نواب‌پور، س.، و گیلانی، ک. ۱۳۹۶. ترکیب‌پذیری لاین‌های ذرت از ژرم پلاسم حاره‌ای و نیمه حاره‌ای با استفاده از تسترهای مناطق معتدل. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۳: ۳۱۴- ۲۹۹.**

این پژوهش به منظور ارزیابی ترکیب‌پذیری لاین‌های ذرت استخراجی از ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه حاره‌ای سیمیت (CIMMYT) در تلاقی با تسترهای مناطق معتدله انجام شد. به این منظور تعداد سی و شش ترکیب حاصله از تلاقی چهار تستر معتدله ذرت (MO17 از گروه لنکسترشورکراپ، و K18 لاین استخراج شده از MO17، B73 از گروه ریدیللودنت و K47/3 لاین به دست آمده ازB73) با نه لاین استخراجی از ژرم‌پلاسم ذرت سیمیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در چهار منطقه کرج، دزفول، شیراز و کرمانشاه بررسی شدند. نتایج برآورد اثر ژن‌ها با تجزیه لاین در تستر نشان داد که علاوه بر اثر غالبیت، اثر افزایشی نیز در کنترل عملکرد دانه و دیگر صفات موثر بودند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین عملکرد تلاقی‌ها، هیبریدهای شماره ۳۲، ۷ و ۹ به ترتیب با میانگین عملکرد ۸/۶۴۱، ۸/۴۳۰ و ۸/۳۸۲ تن در هکتار پرمحصول‌تر از سایر هیبریدها و شاهد بودند. این هیبریدها به ترتیب حاصل تلاقی لاین شماره ۵ با تستر K18 و لاین شماره ۷ و ۹ با تستر MO17 بودند. برآورد ترکیب‌پذیری عمومی مشخص کرد لاین شماره ۵ پتانسیل استفاده مستقیم برای اصلاح عملکرد دانه در برنامه به‌نژادی ذرت را دارا است. ترکیب‌پذیری خصوصی عملکرد دانه تلاقی‌ها نیز بیان‌کننده ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار تستر MO17 با لاین شماره ۴ بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، عملکرد دانه، ترکیب‌پذیری خصوصی و عمومی، لاین × تستر.

نویسنده مسئول: ramezanpour@gau.ac.ir تلفن: ۰۷۱۳۲۴۳۷۶۱۷

مقدمه

ارزش غذایی خاص ذرت و نیز طیف وسیع استفاده از آن با اهداف مختلف تغذیه‌ای، استراتژیک و تجاری منجر به توجه بسیار محققان به این گیاه شده است، به طوری که پیشرفت در مطالعات و یافته‌های ژنومیک، اصلاح و تولید ذرت در زندگی بخش بزرگی از جمعیت جهان نقش مهمی ایفا می‌کند (Xu and Crouch, 2008). بر اساس آخرین آمار سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی، ذرت در مقایسه با غلات مهم دیگر نظیر گندم، جو و برنج با سطح کشت حدود ۱۸۵ میلیون هکتار، تفاوت قابل توجهی نداشته در حالی که با تولید بسیار متفاوت (بیش از ۱۰۳۷ میلیون تن) مقام اول را دارد (Anonymous, 2016). ایران با تولید تقریبی ۱۲/۵ میلیون تن ذرت (۱/۲ میلیون تن ذرت دانه‌ای و ۱۱/۳ میلیون تن ذرت سیلویی) با اجرای برنامه‌های اقتصاد مقاومتی افزایش سهم خوداتکایی در تولید ذرت دانه‌ای را در برنامه کار دارد. تولید محصول قابل توجه این گیاه بیشتر به دلیل استفاده از ارقام هیبرید با عملکرد بالا است. مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های به نژادی ذرت مانند هر محصول دیگری با هدف بهبود عملکرد، نیازمند آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی، روابط بین صفات، میزان اثر و عمل ژن‌ها روی تظاهر صفات و همچنین میزان وراثت‌پذیری صفات است (Basal and Turgut, 2005؛ Xia *et al.*, 2004). گسترده نبودن پایه ژنتیکی ژرم پلاسم مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی ذرت مناطق معتدله، موجب استقبال ویژه از ژرم‌پلاسم خارجی (Exotic) به خصوص ژرم‌پلاسم مناطق حاره‌ای و نیمه حاره‌ای شده است (Choukan *et al.*, 2015؛ Fan *et al.*, 2010a,b؛ Nelson and Goodman, 2008؛ Simic *et al.*, 2003). تنزل تنوع و پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم در مناطق معتدله به دو دلیل، مداومت در استفاده از منابع ژنتیکی ذرت در مناطق معتدله و محدود بودن تعداد لاین‌های مورد بهره‌برداری (Choukan *et al.*, 2015) ایجاد شده است. بنابراین توسعه پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم مناطق معتدله از طریق استفاده از ژرم‌پلاسم خارجی ذرت به ویژه ژرم‌پلاسم مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای به‌عنوان منبع افزایش تنوع ژنتیکی می‌تواند راه حل مفیدی برای حل این مشکل باشد (Tallury and Goodman, 1999؛ Goodman, 1985؛ Stuber, 1978).

با وجود این‌که محققان از مدت‌های پیش از برنامه‌های به‌نژادی با استفاده از ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای در مناطق معتدله استقبال کرده و آن‌ها را منطقی‌ترین منابع افزایش تنوع ژنتیکی می‌دانستند، ولی استفاده از این ذخایر ژرم‌پلاسمی به دلیل فقدان اطلاعات موثق و قابل اعتماد در ارتباط با عملکرد لاین‌ها و انتخاب والدین در طی سال‌های اخیر محدود شده است (Good man, 1992, 1999, 2004؛ Wellhausen, 1956, 1965؛

؛Brown, 1953, 1957 ؛Lonnquist, 1974 Melhus, 1984).

واسال و همکاران (Vasal *et al*., 1992) تعداد ۹۲ لاین حاره‌ای و ۸۸ نیمه حاره‌ای را در تلاقی با چهار لاین تستر در دو محیط دو سال مورد ارزیابی قرار دادند و دو گروه هتروتیکی حاره ای و دو گروه هتروتیکی نیمه حاره‌ای شناسایی کردند. شلیم‌الدین و همکاران (Shalim-Uddin *et al*., 2008) به منظور تعیین ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، هجده لاین S4 را با سه تستر تلاقی داده و گزارش کردند که پنج لاین در ترکیب با یکی از تسترها بهترین ترکیب‌پذیری خصوصی را دارا بود. در چین ژرم‌پلاسم ذرت حاره‌ای و نیمه حاره‌ای زیادی در برنامه به‌نژادی ذرت وارد شده و به طور وسیعی از نظر سازگاری، ترکیب پذیری و پتانسیل ژنتیکی در توسعه پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم برگزیده چین و گروه‌بندی هتروتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است (Fan *et al.,* 2010a, b, 2009, 2004, 2002).

با توجه به مطالب بالا، یک نیاز ضروری و روزافزون به ارائه اطلاعات مفید و کارآمد در مورد اینبرد لاین‌های حاره‌ای و نیمه حاره‌ای در خصوص اصلاح ذرت در مناطق معتدله وجود دارد. هتروزیس و قابلیت ترکیب پذیری پیش‌شرط‌های دست‌یابی به یک رقم با ارزش بالای اقتصادی و هیبریدهای با حداکثر عملکرد است (Beck *et al.,* 1999).

تجزیه لاین در تستر، ابزار مناسبی برای دستیابی به اطلاعات اثر ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدهای حاصله از آن‌ها و نیز پیش‌بینی نوع عمل ژن در برنامه‌های به‌نژادی است. این روش یکی از ابزارهای قدرتمند در تشخیص بهترین لاین‌های ترکیب شونده و در نتیجه بهره‌برداری از هتروزیس برای انتخاب تلاقی‌ها در برنامه‌های به‌نژادی آینده و شناسایی ترکیب‌پذیری نیز هست (Assefa *et al.,* 2017). از آن‌جائی که کشت ذرت در ایران سابقه طولانی نداشته و از منابع ژنتیکی محدود آن نیز استفاده و بهره‌برداری مداوم شده، این مسئله موجب کاهش تنوع و پایه ژنتیکی ژرم‌پلاسم ذرت در کشور شده است. با توجه به این مطالب، مطالعه حاضر برای بررسی امکان استفاده از ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و نیمه حاره‌ای با هدف دستیابی به لاین‌های جدید و نیز تشخیص گروه‌های هتروتیک و قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی با ۳۶ ترکیب حاصل از تلاقی نه اینبرد لاین (L_1-L_9) با چهار تستر (T_1-T_4) بر اساس مدل تلاقی لاین × تستر انجام شد. هیبریدهای حاصل از تلاقی‌ها براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در چهار منطقه کرج، کرمانشاه، دزفول و شیراز در سال ۱۳۹۴ کاشته شدند. لاین‌های مورد استفاده لاین‌های مورد مطالعه از ژرم‌پلاسم مرکز

تحقیقات بین‌المللی گندم و ذرت CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) که از طریق خودگشنی و انتخاب در برنامه‌های غنی‌سازی ژرم‌پلاسم ایران به منظور القای سازگاری بیشتر با مناطق معتدله ایران، پتانسیل عملکرد بالا و رسیدگی فیزیولوژیک مناسب استخراج شده‌اند. تسترهای MO17 و B73 با منشاء آمریکایی و دو لاین دیگر K18 و K47/3 که در برنامه به‌نژادی ذرت ایران استخراج شده و برای تفکیک گروه‌های هتروتیک اینبرد لاین‌ها نیز استفاده می‌شوند، در این بررسی مورد استفاده قرار گرفتند.

هر کرت آزمایشی شامل دو خط کاشت به فاصله ۷۵ سانتی متر و به طول ۶/۴۸ متر بود که در روی هرخط برای اطمینان از سبز شدن دو بذر در ۳۶ کپه به فاصله ۱۸سانتی‌متر به صورت دستی کاشته شد. پس از تنک کردن در مرحله ۵-۴ برگی (حدود ۱۸ روز بعد از کاشت) فقط یک بوته در هر کپه نگه داشته شد که بر این اساس تراکم کاشت در حدود ۷۴ هزار بوته در هکتار بود.

صفات زراعی اندازه‌گیری شده عبارت بودند از درصد رطوبت دانه در زمان برداشت، درصد چوب بلال، تعداد روز تا کاکل‌دهی (تعداد روز از زمان کاشت تا زمانی که در ۵۰ درصد بوته‌های دو خط وسط هر کرت طول کاکل بلال‌ها به ۳-۲ سانتی‌متر رسیده بود)، تعداد روز تا تاسل‌دهی (تعداد روز از زمان کاشت تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌های دو خط وسط هر کرت در حال آزاد کردن شده بودند)، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (تعداد روز از زمان کاشت تا زمانی که در ۵۰ درصد بوته‌های دو خط وسط هر کرت، برگ‌های پایین بلال و برگ‌های محافظ بلال خشک و بقیه برگ‌ها نیز زرد شده بودند) و عملکرد دانه عملیات مربوط به مدیریت مزرعه و محصول براساس شرایط توصیه شده هر منطقه انجام شد.

داده‌های جمع‌آوری شده برای عملکرد و برخی صفات مهم زراعی به وسیله نرم‌افزار MSTAT-C و Excel تجزیه و تحلیل شدند. در تجزیه انجام شده مکان های آزمایشی تصادفی و ژنوتیپ‌ها ثابت در نظر گرفته شدند. ابتدا تجزیه واریانس جداگانه برای هر چهار منطقه انجام و سپس تجزیه مرکب برای چهار منطقه انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی واریانس خطای آزمایش، با آزمون بارتلت انجام و تائید شد. برای صفاتی که اثر هیبریدها معنی‌دار شده بود، برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و قابلیت ترکیب خصوصی (SCA)، واریانس ژنتیکی و سهم لاین‌ها، تسترها و اثر متقابل آن‌ها برای عملکرد و دیگر صفات با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزاری Excel به وسیله تجزیه لاین در تستر انجام شد.

تجزیه واریانس لاین در تستر با براساس رابطه زیر انجام و ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تستر تعیین شد:

$$y_{ij}=\mu+g_i+g_j+s_{ij}+r_k+e_{ijk}$$

که در آزمون y_{ijk} : میانگین فنوتیپی اندازه‌گیری شده برای ij^{th} ژنوتیپ در k^{th} تکرار، μ : میانگین جمعیت، g_{ij} : ترکیب‌پذیری عمومی j^{th} والد مادری، S_{ij} : ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی بین i^{th} والد پدری j^{th} والد مادری، r_k: اثر k^{th} تکرار، e_{ijk} : اثر تصادفی خطای مرتبط با ij^{th} ژنوتیپ در k^{th} تکرار بودند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیائی محل‌های آزمایش در جدول ۱ و مشخصات لاین‌ها و تسترهای استفاده شده در تلاقی‌ها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه نشان داد که اثر تلاقی‌ها در چهار مکان از نظر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسه میانگین عملکرد دانه تلاقی‌ها در چهار مکان مورد بررسی نشان داد هیبرید شماره ۳۲ با ۸/۶۴۱ تن در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشته و هیبریدهای شماره ۷ و۹ به ترتیب با ۸/۴۳۰ و ۸/۳۸۲ تن در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. لاین‌های مادری این تلاقی‌ها، لاین‌های شماره ۵، ۷ و ۹ بودند. رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ (شاهد) در رتبه‌های میانی با عملکرد ۷/۹۳۸ قرار داشت (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد امکان استفاده از ژرم‌پلاسم مناطق حاره‌ای و نیمه حاره‌ای سیمیت در شرایط معتدله ایران وجود دارد.

با توجه به معنی‌دار شدن اثرتلاقی‌ها (جدول ۳)، شرایط لازم برای انجام تجزیه لاین در تستر و تجزیه اثر تلاقی‌ها به اجزای آن (اثر لاین، اثر تستر و اثر متقابل لاین در تستر) برای صفات تعداد روز تا کاکل‌دهی، تعداد روز تا تاسل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، درصد رطوبت دانه در زمان برداشت، درصد چوب بلال و عملکرد دانه وجود داشت. تجزیه اثر تلاقی به اجزای آن بر مبنای تجزیه لاین × تستر برای عملکرد دانه در چهار مکان (کرج، دزفول، شیراز و کرمانشاه) نشان داد که اثر مکان، اثر متقابل مکان × تستر و همچنین اثر متقابل مکان × لاین‌ها نیز برای کلیه صفات مذکور در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. فان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند زمانی که اثر لاین در منطقه معنی‌دار باشد، لاین‌های انتخابی توسط یک تستر در یک منطقه الزاماً مشابه منطقه دیگر نیستند. معنی‌دار بودن اثر ساده لاین و تستر واکنش متفاوت تسترها و لاین‌ها را نشان می‌دهد. اختلاف معنی‌دار مشاهده شده بین تسترها و لاین‌ها مبین نقش اثر افزایشی ژن در کنترل عملکرد دانه است (Choukan, 2008). میانگین مربعات لاین در تسترها نیز برای عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن میانگین مربعات لاین در تستر نشان‌دهنده واکنش متفاوت لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف است که می‌تواند در اثر عملکرد

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی و جغرافیایی مناطق محل اجرای آزمایش

Table 1. Climatical and geographical characteristics of locations of the experiment sites

نام محل Location name	طبقه بندی آب و هوایی Climate category	طول و عرض جغرافیایی Latitude and longitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation above sea level (m)	میانگین حداقل دما Average min temperature (°C)	میانگین حداکثر دما Average max temperature (°C)	میانگین حداقل رطوبت نسبی Average min relative humidity (%)	میانگین حداکثر رطوبت نسبی Averag e max relative humidity (%)	میانگین بارندگی ماهانه Average monthly rainfall (mm)
Karaj	Cold semi-arid	35.8069°E, 50.9538°N	1376	3.20	28.87	25.70	65.44	14.80
Kermanshah	Mediterranean	34.3522°N, 47.1533°E	1324	2.25	29.54	19.52	56.22	34.20
Dezful (Safiabad)	Hot semi-arid	32.2533°N, 48.4330°E	135	12.00	37.66	28.80	70.66	19.70
Shiraz	Hot semi-arid	29.5613°N, 52.6025°E	1541	5.99	31.45	17.20	56.83	17.30

جدول ۲- مشخصات لاین‌ها و تسترهای استفاده شده در تلاقی‌ها
Table 2. Specification of the lines and testers used in the crosses

Line (Females)	Pedigree
L1	KLM82010/1393/15
L2	KLM82010 /1393/16
L3	KLM82010/1393/17
L4	KLM82010/1393/18
L5	4-CHTSEY,2002/90/13-2
L6	20-CHTSY,2002/90/49-1
L7	20-CHTSY,2002/90/53-1
L8	20-CHTSY,2002/90/53-2
L9	K18 x 2-CHTHIY,2002/90/81-1
Testers (Males)	
T1	MO17
T2	B73
T3	K47/3
T4	K18

متفاوت لاین‌ها در ترکیب با تسترها از نظر قدرت انتقال صفات باشد (جدول ۳).

این نتیجه همچنین حاکی از تنوع بین لاین‌ها و تسترها بود که امکان گزینش لاین‌های مناسب برای استفاده در برنامه تولید هیبرید را افزایش می‌دهد. معنی‌دار بودن میانگین مربعات لاین × تستر نیز حاکی از نقش اثر غالبیت و غیر افزایشی در کنترل عملکرد دانه بود، بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه نقش داشته‌اند. نتیجه این پژوهش منطبق بر یافته‌های دیگر محققینی است که گزارش کرده بودند هر دو اثر افزایشی و اثر غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه نقش دارند (Shiri *et al*., 2010, 2015؛ Esmaili *et al*., 2005؛ Iqbal *et al*., 2007؛ Choukan, 1999). میانگین مربعات لاین‌ها برای صفات تعداد روز تا کاکل‌دهی، تعداد روز تا تاسل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، درصد رطوبت دانه در زمان برداشت، درصد چوب بلال و عملکرد دانه معنی‌دار و میانگین مربعات تسترها نیز برای کلیه صفات مذکور معنی‌دار بود (جدول ۳). از آن‌جا که معنی‌داری لاین‌ها و تسترهای ذرت بیانگر معنی‌داری اثر ترکیب‌پذیری عمومی و عمل افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات و معنی‌داری اثر متقابل لاین در تستر به مفهوم سهم بیشتر عمل غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل صفت است، می‌توان اظهار داشت نقش اثر افزایشی ژن در کنترل صفات روز تا کاکل‌دهی و درصد چوب بلال بیشتر و برای صفات روز تا تاسل‌دهی، روز تا رسیدگی، درصد رطوبت دانه و عملکرد دانه هر دو عمل افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات مهم باشند.

برای تعیین این‌که کدام اثر (افزایشی یا غیر افزایشی) در کنترل صفات نقش بیشتری دارد از نسبت واریانس GCA/SCA استفاده شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین (مربعات لاین) در تستر و اجزای واریانس ژنتیکی برای عملکرد دانه و برخی صفات زراعی ذرت در چهار مکان اجرای آزمایش

Table3. Analysis of variance (mean of squares) of line × tester and genetic variance components for yield and some agronomic traits of maize in four locations of the experiment

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	روزتا کاکل دهی Day to silking	روزتا تاسل دهی Day to anthesis	روزتا رسیدگی Day to maturity	درصد رطوبت دانه Seed moisture(%)	درصد چوب بلال Cob percentage	عملکرد دانه Grain yield
Location (L)	مکان	3	7854.46**	5169.72**	12032.32**	178.27**	358.39**	1840.76**
Error 1	خطای ۱	8	6.09	4.96	7.46	3.56	5.58	6.23
Crosses	تلاقی‌ها	35	6.76**	32.494**	28.18**	4.47**	7.39**	3.99**
LGCA	لاین‌ها	8	15.68**	27.44**	11.68^{ns}	5.85^{ns}	8.34^{ns}	5.58**
TGCA	تسترها	3	4.81^{ns}	64.16**	82.45**	6.20^{ns}	22.48**	2.43^{ns}
T×L , SCA		24	4.04^{ns}	30.22	26.90**	3.79^{ns}	5.19^{ns}	3.66**
Crosses × location		105	4.28*	18.84**	18.58**	4.72*	6.85^{ns}	5.54**
TGCA × location		9	6.78*	30.39**	20.39^{ns}	10.86**	9.64^{ns}	8.48**
LGCA × location		24	4.61^{ns}	13.48^{ns}	14.03^{ns}	7.44**	7.92^{ns}	5.84**
SCA × location		72	3.85^{ns}	19.19**	19.87**	3.05^{ns}	6.15^{ns}	5.07**
Error 2	خطای ۲	280	3.26	12.61	11.31	3.34	5.62	1.84
CV. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	2.98	6.77	2.98	12.65	16.75	17.77
σ^2A	واریانس افزایشی	–	0.10	0.08	0.05	0.02	0.02	0.01
σ^2D	واریانس غالبیت	–	-	5.87	5.20	-	-	0.61
$\sigma^2GCA / \sigma^2SCA$		–	-	0.07	0.004	-	-	0.02
C. L.	سهم لاین‌ها	–	52.97	19.30	9.47	29.93	15.75	31.94
C. T.	سهم تسترها	–	6.10	16.92	25.08	11.91	21.45	5.21
C. L×T	سهم لاین × تستر	–	40.93	63.77	65.45	58.16	62.80	62.85

ns and **: Not significant and significant at 1% level of probability. σ2A: Additive variance, GCA: General combining ability variance, SCA: Specific combining ability variance, σ2D: Dominance variance, C. L: Contribution of lines of total variance, C. T.: Contribution of testers of total variance, C. L×T: Contribution of line×testers of total variance, σ2gca/σ2sca: The ratio of general combining ability variance to specific combining ability variance.

جدول ۴ – مقایسه میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در چهار مکان اجرای آزمایش

Table 4. Mean comparison of grain yield of maize hybrids in four locations of the experiment

شماره هیبرید Hybrid No.	هیبرید Hybrid	عملکرد دانه Grain yield (tha^{-1})
1	KLM82010/1393/15 × MO17	6.902d-g
2	KLM82010/1393/16 × MO17	7.267a-g
3	KLM82010/1393/17 × MO17	7.137b-g
4	KLM82010/1393/18 × MO17	7.956a-f
5	4-CHTSEY,2002/90/13-2 × MO17	7.678a-g
6	20-CHTSY,2002/90/49-1 × MO17	8.062a-d
7	20-CHTSY,2002/90/53-1 × MO17	8.430ab
8	20-CHTSY,2002/90/53-2 × MO17	7.791a-g
9	K18 x 2-CHTHIY,2002/90/81-1 × MO17	8.382ab
10	KLM82010/1393/15 × B73	8.099a-d
11	KLM82010/1393/16 × B73	7.563a-g
12	KLM82010/1393/17 × B73	7.965a-f
13	KLM82010/1393/18 × B73	7.973a-f
14	4-CHTSEY,2002/90/13-2 × B73	7.796a-g
15	20-CHTSY,2002/90/49-1 × B73	7.639a-g
16	20-CHTSY,2002/90/53-1 × B73	7.983a-f
17	20-CHTSY,2002/90/53-2 × B73	6.654e-g
18	K18 x 2-CHTHIY,2002/90/81-1 × B73	8.352abc
19	KLM82010/1393/15 × K47/3	8.137a-d
20	KLM82010/1393/16 × K47/3	7.907a-f
21	KLM82010/1393/17 × K47/3	7.589a-g
22	KLM82010/1393/18 × K47/3	8.347abc
23	4-CHTSEY,2002/90/13-2× K47/3	7.613a-g
24	20-CHTSY,2002/90/49-1× K47/3	6.974c-g
25	20-CHTSY,2002/90/53-1× K47/3	7.916a-f
26	20-CHTSY,2002/90/53-2× K47/3	6.523g
27	K18 x 2-CHTHIY,2002/90/81-1× K47/3	6.641efg
28	KLM82010/1393/15 × K18	6.592fg
29	KLM82010/1393/16 × K18	7.168b-g
30	KLM82010/1393/17 × K18	7.880a-g
31	KLM82010/1393/18 × K18	7.424a-g
32	4-CHTSEY,2002/90/13-2 × K18	8.641a
33	20-CHTSY,2002/90/49-1 × K18	7.736a-g
34	20-CHTSY,2002/90/53-1 × K18	8.026a-e
35	20-CHTSY,2002/90/53-2 × K18	6.787d-g
36	K18 × 2-CHTHIY,2002/90/81-1 × K18	7.108b-g
Check	KSc704	7.938a-f

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارد.

Means with similar letter(s) are not significantly different, using Duncan’s multiple range test.

بـرآورد نسـبت واریـانس GCA/SCA بـرای عملکرد دانه و دیگر صفات کمتـر از یـک بـود که اهمیت واریـانس ژنتیکـی غیرافزایشـی را در کنتـرل ایـن صـفت نشـان داد (جـدول ۳). سـهم لاین‌ها و تسـترها از تنـوع موجـود بـرای صـفت عملکرد دانه به ترتیب ۳۱/۹۴ و ۵/۲۱ درصد بود هرچند سهم لاین × تستر درصد قابل توجه بـود (جـدول۳). ایـن نتیجـه نیـز مبـین سـهم بیشـتر واریانس ژنتیکی غیر افزایشـی از کـل واریـانس مشاهده شده برای عملکرد دانه و دیگـر صـفات بود. آسفا و همکاران (Assefa *et al.*, 2017) با استفاده از تجزیه لاین در تسـتر عملکـرد دانـه و

صفات مرتبط را ارزیابی و بیان داشتند که هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی در کنترل صفات سهیم هستند، در حالی که پال و پرادهان (Pal and Prodhan, 1994) برای عملکرد دانه و تعداد دانه در ردیف بلال اثر غیرافزایشی ژن‌ها و ویو و همکاران (Wu *et al*., 2003) دیگر اجزاء عملکرد نظیر وزن هزار دانه، طول دوره رشد، تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در بلال را تحت کنترل ژن‌های با اثر افزایشی مهم‌تر دانستند. در خصوص صفات فنولوژیک سانداراجان و کومار (Sundararajan and Kumar, 2011) اظهار داشتند تفاوت بین لاین‌ها برای صفات تعداد روز تا تاسل‌دهی و تعداد روز تا کاکل‌دهی معنی‌دار بود و برای این صفات نقش ژن‌های افزایشی را بیشتر دانستند. نقش بیشتر اثر افزایشی در کنترل صفت تعداد روز تا ظهور کاکل توسط ریسی و هالوئر (Rissi and Hallauer, 1991) و تحقیق حاضر تطابق دارد در حالی که نقش بیشتر اثر غیر افزایشی توسط کوناک و همکاران (Konak *et al*., 1999) گزارش شده است. این اختلاف در نتایج می‌تواند ناشی از روش بررسی، مواد آزمایشی، وجود تفاوت‌های ژنتیکی بین مواد ژنتیکی و یا استفاده از پارامترهای مختلف برای برآورد عمل ژن باشد. وجود هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی واریانس ژنتیکی نشان دهنده لزوم بهره‌گیری از هر دو اجزای تثبیت‌پذیر و غیرتثبیت پذیر واریانس ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی ذرت است.

برآورد GCA لاین‌ها و تسترها به منظور شناسایی ترکیب شونده برتر انجام و نتایج در جدول ۵ ارایه شده است. برای صفت عملکرد دانه هیچ کدام از لاین‌ها و تسترها به جز لاین شماره ۸ معنی‌دار نبود. این لاین برای صفت عملکرد دانه ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد و در تلاقی‌ها از عملکرد پایینی برخوردار بود. با توجه به نتایج عملکرد هیبریدها و ترکیب‌پذیری منفی آن به نظر می‌رسد این لاین کاهنده عملکرد باشد. البته عملکرد صفت پیچیده‌ای است که تحت تاثیر عوامل زیادی قرار دارد و معمولاً به علت پایین بودن وراثت‌پذیری آن، انتخاب مستقیم برای آن چندان مؤثر نیست. لذا برای اصلاح عملکرد بهتر است از انتخاب غیر مستقیم استفاده شود. لاین شماره ۵ نیز برای صفت تعداد روز تا کاکل‌دهی دارای GCA منفی و معنی‌دار بود. در مجموع برای چگونگی GCA لاین‌ها می‌توان بیان داشت که لاین شماره ۸ کاهنده عملکرد دانه و لاین شماره ۵ که مرتبط با طول دوره رویشی هیبرید است، کاهنده صفت تعداد روز تا کاکل‌دهی است که در تلاقی با تستر K18 بالاترین عملکرد دانه را به دست آورد.

تستر K47/3 ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای تعداد روز تا تاسل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک داشت. این تستر در ترکیب با لاین‌ها از عملکرد مطلوبی

جدول ۵- مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها برای عملکرد دانه و سایر صفات ذرت درچهار مکان اجرای آزمایش

Table 5. General combining ability (GCA) of lines and testers for grain yield and other traits in four locations of the experiment

Line/ Tester	روزتا کاکل دهی Day to silking	روزتا تاسل دهی Day to anthesis	روزتا رسیدگی Day to maturity	درصد رطوبت دانه Seed moisture(%)	درصد چوب بلال Cob percentage	عملکرد دانه Grain yield
T_1	-0.15^{ns}	0.18^{ns}	0.03^{ns}	-0.05^{ns}	-0.35^{ns}	0.11^{ns}
T_2	0.11^{ns}	0.97^{ns}	1.08*	-0.01^{ns}	0.27^{ns}	0.15^{ns}
T_3	-0.27^{ns}	-1.12**	-1.37**	0.28^{ns}	0.51^{ns}	-0.32^{ns}
T_4	0.34^{ns}	0.04^{ns}	0.36^{ns}	0.37^{ns}	-0.48^{ns}	0.08^{ns}
SE	0.35	0.68	0.65	0.35	0.46	0.26
L_1	0.76^{ns}	-0.73^{ns}	-0.001^{ns}	0.48^{ns}	-0.41^{ns}	-0.20^{ns}
L_2	0.05^{ns}	-1.05^{ns}	-1.00^{ns}	-0.33^{ns}	-0.39^{ns}	0.15^{ns}
L_3	0.94**	-1.07^{ns}	-0.13^{ns}	0.45^{ns}	0.26^{ns}	0.01^{ns}
L_4	-0.29^{ns}	0.50^{ns}	0.21^{ns}	-0.32^{ns}	0.50^{ns}	0.30^{ns}
L_5	-0.89*	0.68^{ns}	-0.21^{ns}	-0.03^{ns}	0.07^{ns}	0.30^{ns}
L_6	0.07^{ns}	-0.07^{ns}	-0.001^{ns}	0.08^{ns}	0.12^{ns}	-0.03^{ns}
L_7	-0.16^{ns}	0.50^{ns}	0.33^{ns}	0.32^{ns}	-0.43^{ns}	0.46^{ns}
L_8	0.49^{ns}	0.43^{ns}	-0.06^{ns}	-0.39^{ns}	0.65^{ns}	-0.69*
L_9	0.03^{ns}	0.81^{ns}	0.85^{ns}	-0.26^{ns}	-0.37^{ns}	-0.01^{ns}
S.E	0.52	1.02	0.97	0.53	0.68	0.39

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

برخوردار بود. بنابراین می‌توان از این تستر به منظور اصلاح در جهت زودرسی بهره‌برداری کرد.

زامبزی و همکاران (Zambezi *et al*., 1994) گزارش کردند واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به طور قابل‌توجهی بیش از واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی است و ترکیب‌پذیری عمومی مهم‌ترین منبع تغییرات برای عملکرد دانه در تلاقی‌های مورد آزمایش است. نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی ترکیبات برای شناسایی بهترین ترکیب (جدول ۶) برای عملکرد دانه نشان داد لاین شماره ۴ با تستر MO17 دارای SCA مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود. هر چند والدین این هیبرید ترکیب شونده ضعیفی بر اساس GCA بودند. این هیبرید عملکرد نسبتاً مطلوب و بالاتری از هیبرید شاهد به دست آورد. فن و همکاران (Fan *et al*., 2010a,b) گزارش کردند که جمعیت‌های خارجی مستخرج از سیمیت برای شناسایی آلل‌های مطلوب جهت انتقال به لاین‌های داخلی در برنامه‌های به‌نژادی ذرت سودمند بوده و می‌توان از ژرم‌پلاسم سیمیت که پتانسیل بالقوه‌ای برای بهبود هیبریدها و ارقام معتدله دارد، استفاده کرد.

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به ناشناخته بودن واکنش هتروتیکی ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و نیمه حاره‌ای در تلاقی با لاین‌های گروه های مختلف هتروتیکی معتدله، استفاده از تسترهای مختلف با تنوع بیشتر ضرورت دارد. از طرف دیگر، ژرم‌پلاسم سیمیت به عنوان منبع استخراج لاین‌ها در این آزمایش از سازگاری کافی به اقلیم معتدله برخوردار نبودند و بخش اعظم منابع اولیه حذف و فقط محدود به سه منبع شدند. فان و همکاران (Fan *et al*., 2010a) گزارش کردند در دستیابی به سابقه ژنتیکی ژرم پلاسم‌های متفاوت انتخاب تسترهای متنوع و بیش از یک تستر از هر گروه می‌تواند به شناسایی منابع جدید کمک کند. این موضوع ضرورت استفاده از تسترهای بیشتر را در شناسایی منابع مناسب از بین ژرم‌پلاسم حاره‌ای و نیمه حاره‌ای را نشان می‌دهد.

به طور کلی بر اساس نتایج مقایسه میانگین و قابلیت ترکیب عمومی و خصوصی لاین‌های حاصل از ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و نیمه حاره‌ای با تستر های شناخته شده از گروه‌های هتروتیک مشهور (MO17 از گروه لنکستر شور کراپ و K18 لاین استخراج شده از MO17 و از B73 گروه رید یللودنت و K47/3 لاین به دست آمده از B73) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نتایج امیدبخش برخی از تلاقی‌ها نسبت به رقم شاهد سینگل‌کراس ۷۰۴ از جمله تلاقی تستر K18 با لاین شماره ۵، تستر MO17 با لاین‌های شماره ۷ و ۹ و با توجه به ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار تلاقی لاین شماره ۴ با تستر MO17 و همچنین نتایج حاصل از ترکیب‌پذیری عمومی برای صفات روز تا

جدول ۶- مقادیر ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها برای عملکرد دانه ذرت در چهار مکان اجرای آزمایش

Table 6. Specific combining ability (SCA) of crosses for grain yield in four locations of the experiment

لاین Line	Tester تستر			
	M017	B73	K47.3	K18
L_1	-0.64^{ns}	0.17^{ns}	-0.002^{ns}	-0.15^{ns}
L_2	0.52^{ns}	0.26^{ns}	0.63^{ns}	0.75^{ns}
L_3	-0.48^{ns}	0.16^{ns}	0.35^{ns}	-0.44^{ns}
L_4	2.03^{**}	-0.07^{ns}	-0.12^{ns}	-0.10^{ns}
L_5	0.31^{ns}	-0.10^{ns}	-0.31^{ns}	-0.23^{ns}
L_6	-0.06^{ns}	0.74^{ns}	0.05^{ns}	0.66^{ns}
L_7	0.75^{ns}	-0.58^{ns}	0.24^{ns}	0.58^{ns}
L_8	-0.39^{ns}	-0.36^{ns}	-0.26^{ns}	-0.66^{ns}
L_9	-0.61^{ns}	-0.29^{ns}	0.14^{ns}	-0.60^{ns}

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

ns and **: Not significant, significant at 1% level of probability, respectively.

تاسل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک امکان دستیابی به منابع برتر و سازگارتر (با پتانسیل عملکرد مطلوب و زودرس‌تر در شرایط کشت دوم) با استفاده از ژرم‌پلاسم‌های حاره‌ای و نیمه حاره‌ای وجود خواهد داشت.

سپاسگزاری

از مسئولین و همکاران بخش تحقیقات ذرت وگیاهان علوفه‌ای موسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، به ویژه آقای دکتر محمدرضا شیری و آقای مهندس رضا معینی سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

References

Anonymous 2016. Food and Agriculture Organization Statistics. 2014. Available at: http://www.FAO.org. Accessed in June 2017.

Assefa, T., Zeleke, H., Afriye, T., and Otyama, P. 2017. Line × tester analysis of tropical high land maize (*Zea mays* L.) inbred lines top crossed with three east african maize populations. American Journal of Plant Sciences 8: 126-136.

Basal, H., and Turgut, I. 2005. Genetic analysis of yield components and fiber strength in upland cotton (*G. hirsutum* L.). Asian Journal of Plant Science 4 (3): 293-298.

Beck, D. L., Vaal, S. K., and Carossa, J. 1990. Heterosis and combing ability of CIMMYT, tropical early and intermediate maturity maize (*Zea mays* L.) germplasm. Maydica 35: 279-285.

Brown, W. L. 1953. Sources of germ plasm for hybrid corn. Annual Corn Sorghum Research Conference Proceedings 8: 11-16.

Brown, W. L. 1975. A broader germplasm base in corn and sorghum. Annual. Corn Sorghum Research Conference Proceedings 30: 81-89.

Choukan, R. 1999. Estimation of combining ability, additive and dominance variance in corn lines using line x tester cross. Seed and Plant 15: 65-73 (in Persian).

Choukan, R. 2008. Methods of Genetical Analysis of Quantitative Traits in Plant Breeding. Published by Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. 270 pp. (in Persian).

Choukan, R., Estakhr, A., Afarinesh, A., Afsharmanesh, Gh. R., Shiri, M. R., Mosavat, A., and Fareghei, Sh. 2015. Combining ability of maize lines derived from CIMMYT germplasm in crossing with temperate lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences 16 (4): 334-345 (in Persian).

Esmaili, A., Dehgani, H., Khavari-Khorasani, S., and Mirzaee, N. H. 2005. Estimation of combining ability and gene effects of early mature corn inbred lines at different plant densities by line × tester analysis. Iranian Journal of Agricultural Sciences 5: 917-929 (in Persian).

Fan, X. M., Tan, J., Li, M. S., Yang, J. Y., and Chen, H. M. 2004. Genetic diversity of Chinese temperate and exotic tropical, subtropical quality protein maize inbreds by SSR markers. Agricultural Sciences, China 32: 94-100.

Fan, X. M., Tan, J., Yang, J. Y., Liu, F., Huangh, B. H., and Huangh, Y. X. 2002. Study on combining ability for yield and genetic relationship between exotic tropical, subtropical maize inbreeds and domestic temperate maize inbreeds. Sciencia Agriculturae Scinica 35: 743-749 (in Chinese).

Fan, X. M., Zhang, Y. M., Yao, W. H., Chen, H. M., Tan, J., Xu, C. X., Han, X. L., Luo, L. M., and Kang, M. S. 2009. Classifying maize inbred lines into heterotic groups using a factorial mating design. Agronomy Journal 101: 102-106.

Fan, X.M., Zhang, Y.D., Liu, L., Chen, H.M., Yao, W.H., Kang, M., and Yang, J.Y. 2010a. Screening tropical germplasm by temperate inbred testers. Maydica 55: 55-63.

Fan, X. M., Zhang, Y. D., Liu, L., Chen, H. M., Yao, W. H., Kang, M., and Yang, J. Y., 2010b. Improving grain yield and yield components of temperate maize using tropical germplasm. Journal of New Seeds 11: 28-39.

Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: Status, prospect, and remedies. Iowa State Journal of Research 59: 497-527.

Goodman, M. M. 1992. Choosing and using tropical corn germ- plasm. Annual Corn Sorghum Research Conference Proceedings 47: 47-64.

Goodman, M. M. 1999. Broadening the genetic diversity in maize breeding by use of exotic germplasm, pp. 139-148. In: Coors, J. G., and Pandey, S. (ed.) The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.

Goodman, M. M. 2004. Developing temperate inbreds using tropical maize germplasm: Rationale, results, conclusions. Maydica 49: 209-219.

Iqbal, A. M., Nehvi, F. A., Wani, S. A., Rehana, Q., and Zahoor, A. D. 2007. Combining ability analysis for yield and yield related traits in maize (*Zea mays* L.). International Journal of Plant Breeding and Genetics 1: 101-105.

Konak, C., Unay, A., Serter, E., and Basal, H. 1999. Estimation of combining ability effects, heterosis and heterobeltiosis by line × tester method in maize. Turkish Journal of Field Crops 4: 1-9.

Lonnquist, J.H. 1974. Consideration and experiences with recombination of exotic and corn belt maize germplasms. Annual Corn and Sorghum Research Conference Proceedings 29: 102-117.

Melhus, L. E. 1948. Exploring the maize germplasm of the tropics. Annual Corn and Sorghum Research Conference Proceedings Proc. 3: 7-19.

Nelson, P. T., and Goodman, M. M. 2008. Evaluation of elite exotic maize inbreds for use in temperate breeding. Crop Science 48: 85-92.

Pal, A., Prodhan, H., 1994. Combining ability analysis of grain yield and oil content along with some other attributes in maize (*Zea mays* L.). The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 54: 376-380.

Rissi, R. D., and Hallauer, A., 1991. Evaluation of four testers for evaluating maize (*Zea mays* L.) lines in a hybrid development program. Revista Brasllelia de Genetica 14: 467-481.

Shiri, M. R., Aliyev, R., and Choukan, R. 2010. Water stress effects on combining ability and gene action of yield and genetic properties of drought tolerance indices in maize. Research Journal of Environmental Science 4: 75-84.

Shiri, M. R., Choukan, R., and Aliyev, R. 2015. Drought stress effects on gene action and combining ability of maize inbred lines. Seed and Plant Improvement Journal 31-1: 421-440 (in Persian).

Simic, D., Presterl, T., Seitz, G., and Geeiger, H. H. 2003. Comparing methods for integrating exotic germplasm into European forage maize breeding programs. Crop Science 43: 1952- 1959.

Stuber, C. W. 1978. Exotic sources for broadening genetic diversity in corn breeding programs. Annual Corn Sorghum Research Conference Proceedings 33: 34-47.

Sundararajan, R., and Kumar, P., 2011. Studies on combining ability through line× tester analysis in maize (*Zea mays* L.). Plant Archives 11: 75-77.

Tallury, S. P., and Goodman, M. M. 1999. Experimental evaluation of the potential germplasm for temperate maize improvement. Theoretical and Applied Genetics 98: 54-61.

Vasal, S.K., Srinivasan, G., Crossa, J., Beck, D.L., 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early-maturity maize germplasm. Crop Science 32, 884-890.

Wellhausen, E. J. 1956. Improving American corn with exotic germ- plasm. Annual Corn Sorghum Research Conferece Proceedings 11: 85-96.

Wellhausen, E. J. 1965. Exotic germ plasm for improvement of corn Belt maize. Annual Corn Sorghum Research Conferece Proceedings 0: 31-45.

Wu, G., Xue, Y., He, D., and Xue, Y., 2003. Combining ability analysis on maize inbred lines. Journal of Maize Sciences 11(2): 32-36.

Xia, X. C., Reif, J. C., Hoisington, D. A., Melchinger, A. E., Frisch, M., and Warburton, M. L. 2004. Genetic diversity among CIMMYT maize inbred lines investigated with SSR markers: I. Lowland tropical maize. Crop Science 36: 2230-2237.

Xu, J. Y., and Crouch, H. 2008. Genomics of tropical maize, a stable food and feed across the world. pp: 333-370. In: Moore, P. H., and Ming, R. (eds.) Genomics of Tropical Crop Plants. Springer, London, UK.

Zambezi, B. T., Horner, E. S., and Martin, F. G. 1994. Inbred lines as testers for general and combining ability in maize. Crop Science 26: 908-910.